

(19) KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

KOREAN PATENT ABSTRACTS

(11)Publication number: 100236043 B1
(43)Date of publication of application: 29.09.1999(21)Application number: 1019970046915
(22)Date of filing: 12.09.1997(71)Applicant: DAEWOO ELECTRONICS CO., LTD.
(72)Inventor: KANG, HAN BIT

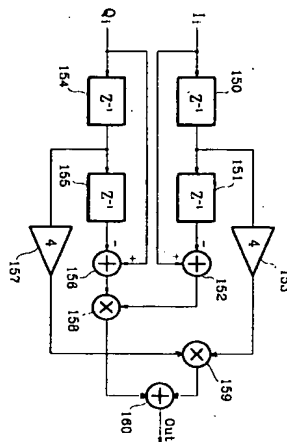
(51)Int. Cl. H04N 7/015

(54) PHASE DETECTING CIRCUIT FOR TIMING RECOVERY OF VESTIGIAL SIDE BAND HDTV SYSTEM

(57) Abstract:

PURPOSE: The phase detecting circuit for the timing recovery of a VSB(vestigial side band) HDTV system is provided to track a phase error after capturing a timing information for the timing recovery by operating a VSB signal on a base band while setting the phase discrimination range as (-180deg.,180deg.).

CONSTITUTION: The phase detecting circuit comprises the first to fourth delay registers(150,151,154,155), the first to second subtractors(152,156), the first to fourth multipliers (153,157,158,159) and an adder(160). The delay registers (150,151,154,155) respectively delay the real or virtual signals(I,Q) of an input band edge filtered VSB signal by one tab. The subtractors(152,156) respectively subtract the signals output from the delay registers(150,155) from the input real signals(I,Q). The multipliers(153,157,158,159) multiply the outputs of the delay registers(150,154) and tab factors of '4', multiply the outputs of the subtractors(152,156), and multiply the outputs of the multipliers (152,157), respectively. The adder(160) adds the outputs of the multipliers(158,159).



COPYRIGHT 2001 KIPO

Legal Status

Date of request for an examination (19970912)
 Final disposal of an application (registration)
 Date of final disposal of an application (19990629)
 Patent registration number (1002360430000)
 Date of registration (19990929)

BEST AVAILABLE COPY

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.⁸

H04N 7/015

(11) 공개번호 특1999-025334

(43) 공개일자 1999년04월05일

(21) 출원번호 특1997-046915

(22) 출원일자 1997년09월12일

(71) 출원인 대우전자 주식회사 전주법

서울시 중구 남대문로5가 541

(72) 발명자 강한빛

서울특별시 서초구 서초3동 1507-23호

(74) 대리인 강철중, 석혜선, 윤창일, 진현용

심사청구 : 있음

(54) 전류측파대 HDTV의 타이밍 복원을 위한 위상 검출 회로

요약

본 발명은 고화질 디지털 텔레비전 시스템(HDTV)의 타이밍 복원 회로에 관한 것으로서, 특히 전류측파대(VSB) HDTV 신호의 타이밍에 관련된 정보를 얻어내어 송신단의 전송신호의 틀어진 위상을 바로 잡아 수신단의 동작 속도를 송신속과 동기되도록 고정시키는 위상 검출 회로에 관한 것이다.

종래의 타이밍 복원 방식은 아날로그 영역에서 미리 타이밍과 반송파 복원을 수행 한 뒤 A/D 변환하여 VSB 신호를 디지털 처리하므로 인해 IF신호 샘플링 및 타이밍 복원의 전체 과정을 디지털적으로 수행할 수 없으며, 또한 데이터 동기 펄드를 이용하여 동기를 맞추었기 때문에 처리시간이 많이 소요되었다.

이에 반해, 본 발명은 수신 신호의 대역폭은 샘플 속도와 동일하다는 특성에 착안하여 샘플링된 기저대역상의 VSB 신호를 조작하여 타이밍 복원을 위한 정보를 획득한 후 위상 오차를 추적하는 데 있어서, 타이밍 정보에 대한 위상 편별 구간을 $[-2\pi, 2\pi]$ 로 설정한 뒤 수학적으로 간단히 정리하므로써, 최적의 게이트 구조를 갖는 위상 검출 회로를 제공한다.

도면

도15

문세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 디지털 복조 시스템의 타이밍 복원의 개념을 설명하기 위한 전체 블록도,
- 도 2는 VSB 신호의 타이밍 복원을 위한 타이밍 신호를 생성하는 방법을 설명하기 위한 주파수 스펙트럼,
- 도 3은 VSB 신호의 타이밍 신호를 생성하고 위상 오차를 추적하는 위상 검출 회로에 대한 블록도,
- 도 4는 도 3의 밴드 에지 필터를 정합 필터와 비교하여 설명하기 위한 블록도,
- 도 5는 도 4의 밴드 에지 필터와 정합 필터에 대한 주파수에 따른 진폭 특성을 보여주는 도면,
- 도 6은 도 4의 밴드 에지 필터에 의해 필터링된 신호에 대한 주파수에 따른 진폭 특성을 보여주는 도면,
- 도 7은 도 3의 정특성 힐버트 필터에 대한 세부 블록도,
- 도 8은 도 3의 부특성 힐버트 필터에 대한 세부 블록도,
- 도 9는 도 7의 정특성 힐버트 필터 및 도 8의 부특성 힐버트 필터에 대한 주파수 응답을 보여주는 도면,
- 도 10은 도 3의 복소수 곱셈부에 대한 세부 블록도,
- 도 11은 시간영역상의 VSB 타이밍 정보에 대한 파형도,
- 도 12는 도 3의 위상 오차 검출부에 대한 세부 블록도,
- 도 13은 도 12의 위상 오차 검출부에 대한 특성을 알아보기 위한 시간에 따른 입출력신호의 파형도,
- 도 14는 정특성 힐버트 필터 및 부특성 힐버트 필터의 공통 계산부분을 간략화하여 간단한 구조를 갖는 위상 편별 회로에 대한 전체 블록도,
- 도 15는 본 발명에 따라 위상 편별 구간을 $[-2\pi, 2\pi]$ 가 되도록 하여 도 14를 최적화시킨 위상 편별 회로에 대한 세부 회로도이다.

* 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 *

- | | |
|------------------|------------------|
| 30 : 밴드 에지 필터 | 31 : 정특성 윌버트 필터 |
| 32 : 부특성 윌버트 필터 | 33 : 복소수 곱셈부 |
| 34 : 위상 오차 검출부 | 150: 제 1 지연 레지스터 |
| 151: 제 2 지연 레지스터 | 152: 제 1 감산기 |
| 153: 제 1 곱셈기 | 154: 제 3 지연 레지스터 |
| 155: 제 4 지연 레지스터 | 156: 제 2 감산기 |
| 157: 제 2 곱셈기 | 158: 제 3 곱셈기 |
| 159: 제 4 곱셈기 | 160: 가산기 |

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 고화질 디지털 텔레비전 시스템(High definition television, HDTV)의 타이밍 복원 회로에 관한 것으로서, 특히 VSB HDTV 신호의 타이밍에 관련된 정보를 얻어내어 송신단의 전송신호의 틀어진 위상을 바로잡아 수신단의 동작 속도를 송신측과 동기되도록 고정시키는(locking) 위상 검출 회로에 관한 것이다.

HDTV의 변조방식은 주로 직교진폭변조방식(이하 QAM 라함, quadrature amplitude modulation) 또는 잔류측파대 변조 방식(이하 VSB 라함, vestigial side band)등이 제안되어 적용되고 있다. 이러한 변조 방식을 채택하는 이유는 부호화된 후 발생된 많은 데이터를 기존의 NTSC 전송채널인 6MHz 대역을 통해 전송하려면 멀티레벨 변조방식을 사용해야 하기 때문이다.

미국의 'Grand Alliance' 조직에서 채택한 HDTV의 전송 방식은 데이터를 두개의 필드를 구성되어진 프레임 단위로 전송한다. 그리고 전송하고자 하는 신호는 디지털 부호화한 후 각 심볼을 M레벨 VSB 변조하여 전송한다.

8A HDTV의 VSB 변조 방식을 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다.

기저대역에서의 입력신호를 일종의 나이퀴스트 필터인 제곱근 발생 코사인필터(square root raised cosine filter) 성형한다. 필스 성형된 동위상 I채널 신호는 다시 복소 필터링되어 직각위상 Q채널 신호를 발생시킨다. 기저대역에서의 각 채널의 직교성분들을 D/A 변환 과정을 거쳐 아날로그 신호로 변환된 다음 중간주파수 대역의 코사인 및 싸인 신호로 성형변조된다. 이렇게 변조된 I채널 신호에서 Q채널 신호를 뺄음으로써 하측파대의 성분이 제거된 VSB 신호를 얻는다. 그리고 나서 VSB 변조신호는 전송하고자 하는 반송파에 실려 수신측으로 전송된다. 즉, VSB 방식은 먼저 중간주파수로 변환된 신호가 다시 국부 발진기와 믹서에 의해 무선 주파수신호(RF, radio frequency)로 변환되어 전송된다.

8A HDTV의 VSB 변조된 신호의 스펙트럼은 신호의 전송율이 10.76Msymbol/sec 이기 때문에 나이퀴스트 필터를 적용하면 신호 전송을 위한 최소 대역폭은 5.38 MHz 이다. 나이퀴스트 필터의 일종인 제곱근 발생 코사인필터는 롤오프인자(roll-off factor)를 가지고 신호의 대역폭을 조정할 수 있다. 파일럿 반송파(pilot carrier)는 좌측 대역 경계점에서 310kHz 에 위치한다. 파일럿 반송파의 추가로 총 신호 전력의 0.3dB 정도 더해지는 효과가 있지만, 이 파일럿을 반송파 고정예(carrier locking) 사용하여 얻는 이득이 더 크다. 또한, 파일럿 신호가 동일 채널 NTSC 신호의 측파 대역에 위치하여 이 파일럿 신호에 의한 NTSC 수신기로의 간섭은 무시할 수 있게 된다.

VSB 변조된 신호는 채널을 통해 전송되어 송신측과 반대의 수신 과정을 통해 복조된다. 먼저, 안테나를 통해서 들어오는 RF신호는 튜너를 통해서 IF 대역으로 낮추어지고, 튜너부에서 선국된 신호가 반송파 복원부를 통해 반송파의 주파수 및 위상이 복원된다. 이 복원된 반송파를 이용하여 IF 신호를 기저대역으로 하향시킨 다음 하향된 기저대역 신호를 디지털 변환시켜 프레임 동기 및 타이밍 복원을 수행하게 된다.

타이밍 복원을 수행하는 이유는 기저대역에 위치한 수신 신호는 전송단에서 보낼 때의 송신 신호와 비교할 때 동기가 전혀 맞지 않는다. 그것은 수신단의 샘플링 속도는 송신단의 샘플 속도와 동기가 맞지 않기 때문이다. 또한, 디지털 수신기에서는 수신된 아날로그 신호를 A/D 변환기를 통해 샘플링하여 디지털 신호를 얻어내는 데 있어서, 전송단에서 만들어진 송신 신호의 속도와 수신측의 샘플링 동작 속도간의 동기가 맞지 않아 생기는 주파수오차 및 위상오차는 수신기 전체의 성능에 큰 영향을 미치기 때문에 샘플링 신호를 얻는 A/D 변환기에서의 정확한 타이밍에서 샘플링을 취하는 것이 매우 중요하다. 가장 최적의 샘플링 기간을 결정하여 주는 것을 바로 타이밍 복원이라(timing recovery) 한다.

타이밍 복원된 클럭은 전체 시스템에 공급되어 시스템 성능에 큰 영향을 주므로 보다 안정된 클럭을 제공하여야 한다. 샘플 타이밍 복원은 기저대역이나 통과대역에서 모두 구성이 가능한데, HDTV와 같이 데이터 전송율이 높은 디지털 시스템은 실시간 처리가 이루어져야 하기 때문에 기저대역에서 타이밍 복원을 수행하는 것이 바람직하다고 알려져 있다.

도 1은 디지털 복조 시스템의 타이밍 복구의 개념을 설명하기 위한 전체 블록도이다.

도 1에서 보는 바와 같이, 인터폴레이션 필터(interpolation filter, 10)는 고정된 샘플 클럭 f_s 마다 수신 신호를 샘플링하여 얻어진 샘플링된 신호를 인터폴레이션 간격(interpolation interval)으로 재샘플링

하여 밴드 에지 필터(band edge filter, 12)로 제공한다. 밴드 에지 필터(12)는 타이밍 복원에 필요한 정보를 얻기 위해서 타이밍 정보를 포함하고 있는 고역 성분만을 통과시키는 일종의 고역 통과 필터이다. 밴드 에지 필터(12)로부터 구해진 심볼의 타이밍 성분은 위상 판별기(phase detector, 13)에 의해서 위상 오차 성분만(phase error) 남게 되고, 루프 필터(loop filter, 14)를 거쳐 평균 위상오차값이 구해진 다음 타이밍 수치제어발진기(timing numerically controlled oscillator; NCO, 15)로 제공된다. 타이밍 수치 제어발진기(15)는 평균 오차 성분을 이용하여 제어 신호를 발생하고 이를 상기 인터플레이션 필터(10)로 제공한다. 인터플레이션 필터(10)는 제어 신호에 따라 새로운 인터플레이션 간격을 설정하게 된다. 이렇게 새로운 인터플레이션 간격이 설정되면서 위상 동기화가 맞게 되면, (즉, 타이밍 복원 블록에서 고정미(locking) 이루어지면) 그때서야 수신 신호는 인터플레이션 필터에(10) 의해 타이밍 복원이 되어 출력된다. 그리고, 타이밍 복원된 신호는 정합 필터(matched filter, 11)를 통해 필터링 된다. 정합 필터(11)는 수신신호를 펄스 성형하여 신호대 잡음비(SNR)를 최대로 하기 위해 사용되는 것으로, 정합 필터링된 신호는 다음의 등화기(equalizer, 도시하지않음)로 제공된다. 도 1에 도시된 타이밍 복원 블록은 전과정이 디지털 처리할 수 있으므로 하드웨어 구현이 많은 이점이 있다.

이러한 종래의 타이밍 복원 방식으로 zenith가 제안한 방식이 사용되어져 왔으나, 이는 아날로그 영역에서 미리 타이밍과 반송파 복원을 행한 뒤 A/D 변환을 수행하여 VSB 신호를 디지털로 처리하고, 데이터 동기를 맞추기 위해 필드마다 삽입한 데이터 동기 필드의 (data field sync) 신호 특성을 이용하여 타이밍을 복구하고자 하였다.

이러한 종래 방식은 기저대역에서 타이밍 복원을 수행하지 않기 때문에, IF 신호 샘플링 및 타이밍 복원을 포함한 모든 복조 과정을 디지털로 처리할 수 없다. 또한, 데이터 동기 필드 신호를 이용하기 때문에 데이터 동기 필드 신호가 존재할 때만 타이밍 복구를 수행하므로써, 처리 시간이 많이 소요되는 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

이에, 본 발명은 상기와 같은 제 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명은 수신 신호의 머역 쪽은 심볼 속도와 동일하다는 특성에 착안하여 기저대역상의 VSB 신호를 조작하여 타이밍 복원을 위한 타이밍 정보를 획득한 후 위상 오차를 추적하는 데 있어서, 위상 판별 범위를 $[-2\pi, 2\pi]$ 로 설정하여 최적의 하드웨어 구조를 갖는 VSB 신호의 타이밍 복원을 위한 위상 검출 회로를 제공하는 데 그 목적이 있다.

상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 입력된 밴드 에지 필터링된 VSB신호의 실수 I_s 신호를 입력받아 1탭 지연시키는 제 1 지연 레지스터와; 상기 제 1 지연 레지스터의 출력을 1탭 지연시켜 출력하는 제 2 지연 레지스터; 입력된 실수 I_s 신호에서 상기 제 2 지연 레지스터로부터 출력된 신호를 뺄셈하는 제 1 감산기; 상기 제 1 지연 레지스터의 출력과 탭계수 '4'를 곱셈하여 출력하는 제 1 곱셈기; 입력된 밴드 에지 필터링된 VSB신호의 허수 Q_s 신호를 입력받아 1탭 지연시키는 제 3 지연 레지스터와; 상기 제 3 지연 레지스터의 출력을 1탭 지연시켜 출력하는 제 4 지연 레지스터; 입력된 실수 I_s 신호에서 상기 제 4 지연 레지스터로부터 출력된 신호를 뺄셈하는 제 2 감산기; 상기 제 3 지연 레지스터의 출력과 탭계수 '4'를 곱셈하여 출력하는 제 2 곱셈기; 상기 제 1 감산기의 출력과 상기 제 2 곱셈기의 출력을 곱셈연산하는 제 3 곱셈기; 상기 제 1 곱셈기의 출력과 상기 제 2 곱셈기의 출력을 곱셈연산하는 제 4 곱셈기 및; 상기 제 3 곱셈기의 출력과 상기 제 4 곱셈기의 출력을 덧셈연산하여 위상 오차값을 출력하는 가산기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

발명의 구성 및 작용

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하기로 한다.

우선, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 타이밍 복원 처리를 하기 전 단계에서 중간주파수 대역상의 VSB 신호를 기저대역상의 샘플링된 VSB 신호로 변환하기 까지의 과정을 설명하고자 한다.

샘플링 속도를 중간주파수대역의 중심주파수의 '4/7' 배한 값으로($f_{sample} = \frac{4}{7} f_{IF}$) 결정하여 중간주파수대역의 신호(f_c)를 샘플링하여 직접 아날로그-디지털 변환시키면 샘플링된 VSB 신호를 얻는다. 이렇게 얻은 샘플링된 VSB 신호는 복소수 복조(complex demodulation) 과정을 통해서 I채널 성분과 Q채널 성분으로 분리되고 동시에 기저대역으로 천이한다. 그리고 상기 기저대역상의 신호는 샘플링 클럭의 1/2 가 되는 시스템 클럭에 따라 데시메이션 필터링되어 출력되고, 샘플링 클럭의 1/2 속도에 따라 출력된 기저대역상의 샘플링된 VSB 신호가 타이밍 복원 블록으로 입력된다.

실제로, IF의 중심주파수 44MHz 에 대해 직접 주파수 하향시키는 샘플링 속도는 25.14MHz 이고, 이 샘플링 속도의 1/2배 값인 12.57MHz 에 따라 기저대역상의 샘플링된 VSB 신호가 타이밍 복원 블록으로 제공된다.

도 2는 VSB 신호의 타이밍 복원을 위한 타이밍 신호를 생성하는 방법을 설명하기 위한 주파수 스펙트럼이다.

도 2의 (a)는 타이밍 복원 블록으로 입력되는 신호 즉, 복소수 복조(complex demodulation)를 통해서 시스템 속도에($f_s = 12.57MHz$) 따라 출력된 기저대역상의 샘플링된 VSB 신호이다. 입력된 VSB 신호는 이산 시간축상(Discrete-Time) 복소수 성분으로(Complex) 나타나며 VSB의 파일렛 반송파는 좌측 밴드 에지 영역에 실려져 있다. 롤오프인자(roll-off factor)로 인해 잉여 대역이(excess bandwidth) 존재하지만 VSB의 대역폭은 10.76MHz 이다. 이것은 원래 송신속의 VSB 신호의 심볼 속도가(symbol rate) 10.76MHz 임을 감안한다면 시스템 속도 12.57MHz 를 갖는 도 2의 (a)신호는 아직 타이밍 복원이 되어있지 않다는 것을 알 수 있다.

도 2의 (b)는 밴드 에지 필터의 응답 특성을 나타낸 것으로서, (a)의 VSB 신호의 양쪽 밴드 에지 부분을

추출할 수 있다. 이 밴드 에지 필터의 대역폭은 VSB 신호의 대역폭과 동일하고, 중심은 $\pm f_s/2$ 에 존재한다.

도 2의 (c)는 (a)의 VSB 신호가 (b)의 밴드 에지 필터에 의해 필터링된 신호이다. 필터링된 VSB 신호는 VSB의 파일럿 반송파를 포함한 음의 영역의 밴드 에지 성분 및 양의 영역의 밴드 에지 성분이다.

도 2의 (d)는 (c)의 신호를 적당히 조작하여 VSB 신호의 타이밍 정보 (timing signal)를 만들어낸 결과를 나타낸다. 타이밍 정보의 샘플 속도(f_s)는 VSB 신호의 원래 샘플 속도인 10.76MHz 로 바뀌어 있으며 이는 인터레이싱 필터를 사용하여 가능한 것이다.

즉, 도 2에서 보는 바와 같이, VSB 신호의 대역폭은 샘플 속도와 동일하다는 특성에 착안하여 양쪽 밴드 에지 성분을 이용하여 적절한 신호 조작을 통해 샘플 속도를 회복하기 위한 타이밍 정보를 획득하고, 이렇게 얻은 타이밍 정보를 이용하여 위상 오차를 추적할 수 있다.

따라서, 위상 검출 방법은 기저대역상의 VSB 신호로부터 음의 영역의 밴드 에지 신호와 양의 영역의 밴드 에지 신호를 각각 추출한 후, 음의 영역의 밴드 에지 신호를 공역 복소수 신호로 변환하고, 상기 공역 복소수 신호와 원래 양의 영역의 밴드 에지 신호를 삼각법에 의해 곱셈하면 도 2의 (d)와 같은 타이밍 정보 (timing signal)를 획득하게 된다. 그리고나서, 상기 타이밍 신호 중 1성분의 절대값을 취한 후, 절대값 1성분과 원래 타이밍 정보의 0 성분을 곱셈하면 위상 오차 신호를 획득하게 된다.

도 3은 VSB 신호의 타이밍 신호를 생성하고 위상 오차를 추적하는 위상 검출 회로에 대한 블록도이다.

위상 검출 회로는 VSB 변조된 중간주파수 신호를 직접 샘플링한 기저대역상의 VSB 신호에 존재하는 위상 오차를 구하여 다음에 연결된 루프 필터로 제공하는 역할을 한다.

도 3을 참조하면, 위상 검출 회로는 기저대역상의 VSB 신호를 입력받아 주파수상에서의 음의 영역의 밴드 에지 성분 및 양의 영역의 밴드 에지 성분을 추출하는 밴드 에지 필터(30)와, 양의 영역의 밴드 에지 성분만을 추출하는 정복성 헬버트 필터(31), 음의 영역의 밴드 에지 성분만을 추출하는 부복성 헬버트 필터(32), 상기 부복성 헬버트 필터(32)의 음의 영역의 밴드 에지 성분을 공역 복소수 변환하여, 상기 정복성 헬버트 필터(31)의 양의 영역의 밴드 에지 성분과 상기 공역 복소수 성분을 곱셈하여 VSB 신호에 대한 타이밍 정보를 출력하는 복소수 곱셈부(33), 및 상기 복소수 곱셈부(33)의 타이밍 정보를 입력받아 위상 오차를 계산하여 출력하는 위상 오차 검출부(34)로 구성되어 있다.

이어서, 도 3의 각 구성요소에 대한 작용 및 효과를 첨부된 도면을 참조하여 자세히 설명하기로 한다.

도 4는 도 3의 밴드 에지 필터(30)를 정합 필터와 비교하여 설명하기 위한 블록도이고, 도 5는 도 4의 밴드 에지 필터와 정합 필터에 대한 주파수에 따른 진폭 특성을 보여주는 도면이며, 도 6은 도 4의 밴드 에지 필터에 의해 필터링된 신호에 대한 주파수에 따른 진폭 특성을 보여주는 도면이다.

주파수 대역상에 존재하는 밴드 에지 신호를 추출하기 위해 사용되는 밴드 에지 필터는 전송단의 필스 성형 필터를 180° 만큼 이동시킨 필터이다. 따라서, 전송단의 필스 성형 필터와 동일한 특성을 갖는 정합 필터의 홀수 탭의 부호만 바꾸게 되면 간단히 제작할 수 있다.

밴드 에지 필터와 정합 필터를 동시에 구현한 도 4를 참조하면, I 혹은 Q 신호가 입력됨에 따라 해당되는 짝수 탭 신호 및 홀수 탭 신호를 출력하는 짝수 탭 메모리(40) 및, 중앙탭을 포함한 홀수 탭 메모리(41)와, 상기 짝수 탭 신호와 홀수 탭 신호를 가산하여 정합 필터링된 신호를 출력하는 가산기(42), 및 상기 짝수 탭 신호로부터 상기 홀수 탭 신호를 감산하여 밴드 에지 필터링된 신호를 출력하는 감산기(43)로 구성된다.

도 4에서와 같이, 정합 필터와 밴드 에지 필터의 계수는 동일하기 때문에 메모리를 절약할 수 있는 장점이 있다.

도 5를 참조하면, 정합 필터의 특성은 기저 대역을 중심으로 위치해 있으며 최대 주파수 $1/2T$ 에서 대역 제한되어진 스펙트럼을 갖는다. 정합 필터의 특성은 전송단과 수신단에서 쓰이는 일반적인 제공된 발생 코사인 필터로 구현되며, 수신단에서의 입력 신호의 모양과 같다는 것을 의미한다. 밴드 에지 필터의 특성은 주파수 상에서 중심이 $1/2T$ 에 있고, $f \geq 1/2T - \alpha$ 를 만족하는 부분에만 존재한다. 여기서, T는 샘플 주기(symbol period), 즉, $1/T$ = 샘플 속도(f_s)에 해당한다.

도 5에서 보여준 밴드 에지 필터의 특성에 의해 알수 있듯이 입력 신호를 밴드 에지 필터링하여 얻어진 신호는 도 6에서 보는 바와 같이, $1/2T - \alpha \leq f \leq 1/2T + \alpha$ 부분에서만 입력 신호가 남게 된다. 이 때 음의 주파수 상의 성분을 음의 영역의 밴드 에지 신호라하고, 양의 주파수 상의 성분을 양의 영역의 밴드 에지 신호라 한다.

밴드 에지 신호는 그 자체로서는 타이밍 정보를 가지고 있지 않기 때문에 밴드 에지 신호를 조작하여 타이밍 정보로 만들어 주는데, 이는 VSB 신호의 대역이 샘플 속도와 동일하다는 특성을 고려한 것이다. 밴드 에지 필터(30)로부터 출력된 신호를 음의 영역 밴드 에지 신호와 양의 영역의 밴드 에지 신호로 분리해 낸 후, 음의 영역의 밴드 에지 신호를 공역 복소수 취하여 양의 영역 밴드 에지 신호와 곱셈하면 샘플 속도에 해당하는 타이밍 정보를 얻을 수 있는 것이다.

우선, 밴드 에지 신호를 음의 영역과 양의 영역으로 분리하기 위한 헬버트 필터는 하기 수학적 식 1을 만족하도록 설계된다.

$$H(z) = \frac{(z+j)^N}{z^N}$$

수학적 식 1은 $z = -j$ 에 제로(zero)가 존재하게 되어 음의 밴드 에지 영역에 노치(notch)를 만들게 된다. 따라서, 밴드 에지 필터링된 신호 중 양의 밴드 에지 영역에서만 신호가 존재하게 되고, 음의 영역에 존

제하는 신호는 제거된다. 그리고, 수학식 1에서 $z = j\omega$ 에 제로가 존재하도록 수정하면 양의 밴드 에지 영역에 노치를 만들어 양의 밴드 에지 신호는 제거되고, 음의 밴드 에지 영역에서만 신호가 존재하게 된다. 또한, 상기 수학식 1에서 필터의 성능을 향상시키고자 한다면 필터의 연수를 늘리기 위해서 N 값을 증가시키면 된다.

도 7은 도 3의 정특성 힐버트 필터에 대한 세부 블록도이고, 도 8은 도 3의 부특성 힐버트 필터에 대한 세부 블록도이며, 도 9는 도 7의 정특성 힐버트 필터 및 도 8의 부특성 힐버트 필터에 대한 주파수 응답을 보여주는 도면이다. 도 7과 도 8은 $N=2$ 일때의 상기 수학식 1을 그대로 적용하여 힐버트 필터를 구현한 것이다.

도 7의 정특성 힐버트 필터는 밴드 에지 필터링된 실수 I_n 성분과 허수 Q_n 성분을 입력받아 양의 영역의 밴드 에지 신호에 대한 실수 I_{n+1} 성분과 허수 Q_{n+1} 성분만을 출력하는 네개의 지연 레지스터(70, 71, 72, 73)와, 탭 계수 2를 곱셈하는 두 개의 곱셈기(74, 75), 세개의 감산기(76, 77, 78) 및 가산기(79)로 구성되어 있다. 정특성 힐버트 필터의 전달 함수 H와 입력 신호 X를 곱하여 출력 신호 Y를 정리해보면, 도 7의 구성요소들간의 입출력 관계를 쉽게 알 수 있다.

$$\begin{aligned} Y &= H \cdot X \\ &= (1 + j2z^{-1} - z^{-2}) \cdot (I_n + jQ_n) \\ &= (I_n - 2Q_n, z^{-1} - I_n, z^{-2}) + j(Q_n + 2I_n, z^{-1} - Q_n, z^{-2}) \\ &= I_{n+1} + jQ_{n+1} \end{aligned}$$

수학식 2에서, 입력 신호 X는 밴드 에지 필터링된 복소수 신호 $I_n + jQ_n$ 이고, 전달함수 H는 수학식 1에 해당하는 정특성 힐버트 필터이고, 출력 신호 Y는 양의 밴드 에지 필터링된 복소수 신호 $I_{n+1} + jQ_{n+1}$ 이다.

도 8의 부특성 힐버트 필터는 밴드 에지 필터링된 실수 I_n 성분과 허수 Q_n 성분을 입력받아 음의 영역의 밴드 에지 신호에 대한 실수 I_{n+1} 성분과 허수 Q_{n+1} 성분만을 출력하는 네개의 지연 레지스터(80, 81, 82, 83), 탭 계수 2를 곱셈하는 두 개의 곱셈기(84, 85), 세개의 감산기(86, 87, 88) 및 가산기(89)로 구성되어 있다. 부특성 힐버트 필터의 전달 함수 H와 입력 신호 X를 곱하여 출력 신호 Y를 정리해보면, 도 8의 구성요소들간의 입출력 관계를 쉽게 알 수 있다.

$$\begin{aligned} Y &= H \cdot X \\ &= (1 - j2z^{-1} - z^{-2}) \cdot (I_n + jQ_n) \\ &= (I_n + 2Q_n, z^{-1} - I_n, z^{-2}) + j(Q_n - 2I_n, z^{-1} - Q_n, z^{-2}) \\ &= I_{n+1} + jQ_{n+1} \end{aligned}$$

수학식 3에서, 입력 신호 X는 밴드 에지 필터링된 복소수 신호 $I_n + jQ_n$ 이고, 전달함수 H는 수학식 1의 j 대신 -j를 대입하여 얻은 부특성 힐버트 필터이고, 출력 신호 Y는 음의 밴드 에지 필터링된 복소수 신호 $I_{n+1} + jQ_{n+1}$ 이다.

수학식 2와 수학식 3을 비교하면 실수 성분의 1샘플 지연된 신호값 $2Q_n z^{-1}$, 허수 성분의 1샘플 지연된 신호값 $2I_n z^{-1}$ 의 부호만이 서로 반대이고, 나머지는 동일하다.

즉, 도 7과 도 8을 비교하면, 도 7에서 허수 성분을 최종 출력하는 가산기(79)와 실수 성분을 최종 출력하는 감산기(79)의 위치만 서로 바꾼다면 도 8과 동일한 구조를 갖는다는 것을 알 수 있다.

이어서, 정특성 힐버트 필터 및 부특성 힐버트 필터에 대한 주파수 응답을 비교하여 보면 다음과 같다.

도 9를 참조하면, 점선으로 표시된 정특성 힐버트 필터의 특성은 음의 영역의 밴드 에지 부분($-1/2T$)에서 노치가(notch) 발생하여 그 부분은 제거되고, 양의 영역의 밴드 에지만을 통과 시킨다. 그리고, 실선으로 표시된 부특성 힐버트 필터의 특성은 양의 영역의 밴드 에지 부분($1/2T$)에서 노치가(notch) 발생하여 그 부분은 제거되고, 음의 영역의 밴드 에지만을 통과 시킨다.

도 10은 복소수 곱셈부에 대한 세부 블록도로서, 복소수 곱셈부(33)는 상기 부특성 힐버트 필터(32)의 음의 영역의 밴드 에지 성분들($I_{n+1} + jQ_{n+1}$) 공액 복소수 변환시킨 후, 정특성 힐버트 필터(31)의 양의 영역의 밴드 에지 성분과($I_{n+1} + jQ_{n+1}$) 상기 공액 복소수 성분들($I_{n+1} - jQ_{n+1}$) 삼각법에 의해 곱셈연산하여 VSB 타이밍 정보를 출력한다. 복소수 곱셈부(33)는 4개의 곱셈기(100, 101, 102, 103)와, 가산기(104), 및 감산기(105)로 구성되어 있다. 양의 영역의 밴드 에지 성분($I_{n+1} + jQ_{n+1}$)과 공액 복소수 성분들($I_{n+1} - jQ_{n+1}$) 곱셈하여 정리해보면, 도 10의 구성요소들간의 입출력 관계를 쉽게 알 수 있다.

$$\begin{aligned} &(I_{n+1} + jQ_{n+1})(I_{n+1} - jQ_{n+1}) \\ &= (I_{n+1}I_{n+1} + Q_{n+1}Q_{n+1}) + j(Q_{n+1}I_{n+1} - I_{n+1}Q_{n+1}) \\ &= I + jQ (= VSB 타이밍 정보) \end{aligned}$$

도 10의 가산기(104)에서 출력되는 성분은 VSB 타이밍 정보의 실수 I 성분이고, 감산기(105)에서 출력되는 성분은 VSB 타이밍 정보의 허수 Q 성분에 해당한다.

지금까지의 전처리과정에 의해 만들어진 VSB 타이밍 정보를 이용하여 위상 오차를 판별하기 위한 위상 오차 검출부(34)를 도 11내지 도 13를 참조하여 설명하고자 한다.

도 11은 시간영역상의 VSB 타이밍 정보에 대한 파형도이다.

도 11의 VSB 파형도는 상기 복소수 곱셈부(33)로부터 출력된 신호를 간략히 나타낸 것이다. 도 11은 VSB 타이밍 정보가 갖는 특성을 알아보기 위해 편의상 간략화하여 나타낸 것으로서, 실제로 출력되는 파형은 도 11과 완전히 일치하는 것은 아닌 데, 그 이유는 각 심볼마다 다른 레벨을 가지며 타이밍 정보라고 하더라도 대역폭을 가지기 때문에 다르게 나타나는 것이다.

도 11의 (a)는 VSB 타이밍 정보의 실수 I 성분이고, (b)는 타이밍 정보의 허수 Q 성분으로 (a)와 (b)는 서로 힐베르트 관계에 있다. (a)와 (b) 신호의 1심볼 주기를 점선으로 표시하였으며, 점선으로 표시한 위치 즉, (a)신호는 위상 90° 점에서 (b)신호는 위상 0° 점에서 샘플링하였을때 정보의 손실없는 최적의 샘플링 신호를 얻을 수 있다.

이 때, (b) 허수 Q 신호의 위상 영역은 심볼 주기 T 마다 0점 교차(zero crossing)를 갖으므로, 이 특성을 이용하여 위상 오차를 판별한다.

도 12는 도 11의 위상 오차 검출부에 대한 블록도이며, 도 13는 도 12의 위상 오차 판별부에 대한 특성을 알아보기 위해 시간에 따른 입력신호의 변화를 나타낸 도면이다.

도 12를 참조하면, 위상 오차 판별부(34)는 VSB의 타이밍 정보중 실수 I 신호를 리미터(110)를 통해 절대값을 취하고, 상기 리미터(110)의 절대값 I 신호와 VSB 타이밍 정보 중 허수 Q 신호를 곱셈기(111)를 통해 곱셈하여 출력한다. 상기 곱셈기(111)로부터 출력된 신호가 바로 우리가 알고자 하는 위상 오차이다. 이 위상 오차 신호는 다음에 연결된 루프 필터(도시하지 않음)로 입력되어 평균 위상 오차가 구해진 뒤 타이밍 위상 오차를 보상하는 데 사용된다.

도 13를 참조하면, (a)는 VSB의 타이밍 정보의 실수 I 신호를 점선으로 나타내었고, I신호를 리미팅 처리하는 리미터 신호의 파형을 실선으로 나타내었다. 실수 I신호와 ± 1 값을 갖는 리미터 신호를 곱셈함으로써 실수 I 신호의 절대값을 구한다.

(b)는 VSB의 타이밍 정보의 허수 Q 신호의 파형도이다. 허수 Q신호의 0점 교차가 일어나는 위치가 최적의 샘플링 위치가 되고, 그 기간이 1심볼 주기가 된다.

(c)는 (a)에서 얻어진 실수 I신호의 절대값과 (b)의 허수 Q 신호를 곱셈하여 얻어진 위상 오차 신호에 대한 파형도이다. 위상 오차 신호는 각 심볼의 최적 샘플링점에서 위상 오차 0값을 갖고, 위상 오차가 커질수록 큰 오차값을 갖는 S자 곡선으로 나타난다. 이 때 위상 오차를 판별할 수 있는 구간은 $[-\pi, \pi]$ 이다. 위상 오차들은 루프 필터로 보내져서 위상 오차가 작아지는 방향으로 조정되면서 전체 타이밍 복원이 이루어진다.

도 14는 정특성 힐베르트 필터 및 부특성 힐베르트 필터의 공통 계산부분을 간략화하여 간단한 구조를 갖는 위상 판별 회로에 대한 전체 블록도이다. 도 14의 위상 판별 회로는 공통 계산부(140)와, 정특성 힐베르트 필터(142), 부특성 힐베르트 필터(144), 복소수 곱셈부(146), 및 위상 오차 판별부(148)로 구성되어 있다.

도 7의 정특성 힐베르트 필터를 구성하는 구성요소와 도 8의 부특성 힐베르트 필터를 구성하는 구성요소중에서 두 필터에 공통으로 사용하는 구성요소가 존재함을 이미 설명한 바 있다. 따라서, 도 14의 위상 판별 회로는 상기 두 필터에 공통으로 존재하는 구성요소를 따로따로 설계하지 않고 공통 계산부(140)로 분리해 내서, 공통 계산부(140)의 출력값(필터링의 중간 단계에서 얻어진 계산값; 이하 중간값이라 함)을 정특성 힐베르트 필터링과 부특성 힐베르트 필터링에 동시에 사용할 수 있도록 구성하는 것을 특징으로 한다.

공통 계산부(140)는 입력 I, 신호를 처리하는 두개의 지연 레지스터(140-1, 140-2)와, 감산기(140-3), 곱셈기(140-4)로 구성되어 있고, 또한 입력 Q, 신호를 처리하는 두개의 지연 레지스터(140-5, 140-6), 감산기(140-7) 및 곱셈기(140-8)로 구성되어 있다.

정특성 힐베르트 필터(142)는 공통 계산부(140)의 입력 I, 신호에 대한 감산기(140-3)의 출력에서 입력 Q, 신호에 대한 곱셈기(140-8)의 출력을 뺄셈하여 양의 밴드 에지 I_{ω_+} 신호를 출력하는 감산기(142-1)와, 공통 계산부(140)의 입력 I, 신호에 대한 곱셈기(140-4)의 출력과 입력 Q, 신호에 대한 감산기(140-7)의 출력을 덧셈하여 양의 밴드 에지 Q_{ω_+} 신호를 출력하는 가산기(142-2)로 구성되어 있다.

부특성 힐베르트 필터(144)는 공통 계산부(140)의 입력 I, 신호에 대한 감산기(140-3)의 출력에서 입력 Q, 신호에 대한 곱셈기(140-8)의 출력을 덧셈하여 음의 밴드 에지 I_{ω_-} 신호를 출력하는 가산기(144-1)와, 공통 계산부(140)의 입력 Q, 신호에 대한 감산기(140-7)의 출력에서 입력 I, 신호에 대한 곱셈기(140-4)의 출력을 뺄셈하여 음의 밴드 에지 Q_{ω_-} 신호를 출력하는 감산기(144-2)로 구성되어 있다.

복소수 곱셈부(146)는 상기 정특성 힐베르트 필터(142)와 상기 부특성 힐베르트 필터(144)로부터 출력된 밴드 에지 신호로 VSB 타이밍 정보(1+Q)를 계산하기 위한 4개의 곱셈기(146-1~146-4)와 타이밍 정보의 I신호를 출력하는 가산기(146-5), 타이밍 정보의 Q신호를 출력하는 감산기(146-6)로 구성되어 있다.(구성과 작용은 도 10의 설명 참조)

위상 오차 검출부(148)는 타이밍 정보의 I신호를 절대값 취한 값과 타이밍 정보의 Q 신호를 곱셈 하는 리미터(148-1)와 곱셈기(148-2)로 구성되어 있다.(구성과 작용은 도 12의 설명 참조)

도 14의 작용을 요약 하면, 기저대역의 VSB 신호($I_{\omega} + jQ_{\omega}$)의 양의 주파수 성분을 갖는 밴드 에지

신호($I_{\text{eq}} + jQ_{\text{eq}}$)를 정특성 필터(142)를 통해 추출하고, 음의 주파수 성분을 갖는 밴드 에지 신호($I_{\text{eq}} - jQ_{\text{eq}}$)를 음특성 필터(144)를 통해 추출한다. 복소수 곱셈부(146)에서 음의 밴드 에지 신호가 공역 복소수 처리되어 양의 밴드 에지 신호와 곱해지면 심볼 속도(symbol rate)를 의미하는 VSB의 타이밍 정보(I+Q)를 획득할 수 있고, 이 타이밍 정보를 이용하여 위상 오차 검출부(148)를 통해 위상 오차를 계산해낸다.

도 15는 본 발명에 따라 위상 판별 구간을 $[-2\pi, 2\pi]$ 가 되도록 하여 최적화시킨 위상 판별 회로에 대한 세부 회로도이다.

입력된 밴드 에지 필터링된 VSB신호의 실수 I, 신호를 처리하는 부분은, 입력받아 1번 지연시키는 제 1 지연 레지스터(150)와, 상기 제 1 지연 레지스터(150)의 출력을 1번 지연시켜 출력하는 제 2 지연 레지스터(151), 입력된 실수 I 신호에서 상기 제 2 지연 레지스터(151)로부터 출력된 신호를 뺄셈하는 제 1 감산기(152), 상기 제 1 지연 레지스터(150)의 출력과 곱계수 '4'를 곱셈하여 출력하는 제 1 곱셈기(153)로 구성되어 있다.

입력된 밴드 에지 필터링된 VSB신호의 허수 Q, 신호를 처리하는 부분은, 입력받아 1번 지연시키는 제 3 지연 레지스터(154)와, 상기 제 3 지연 레지스터(154)의 출력을 1번 지연시켜 출력하는 제 4 지연 레지스터(155), 입력된 허수 Q, 신호에서 상기 제 4 지연 레지스터(155)로부터 출력된 신호를 뺄셈하는 제 2 감산기(156), 상기 제 3 지연 레지스터(154)의 출력과 곱계수 '4'를 곱셈하여 출력하는 제 2 곱셈기(157)로 구성되어 있다.

복소수 신호 처리하여 위상 오차를 구하는 부분은, 상기 제 1 감산기(152)의 출력과 상기 제 2 곱셈기(157)의 출력을 곱셈연산하는 제 3 곱셈기(158)와, 상기 제 1 곱셈기(153)의 출력과 상기 제 2 곱셈기(157)의 출력을 곱셈연산하는 제 4 곱셈기(159), 및 상기 제 3 곱셈기(158)의 출력과 상기 제 4 곱셈기(159)의 출력을 덧셈연산하여 출력하는 가산기(160)로 구성되어 있다. 상기 가산기(160)의 출력은 위상 오차 판별 범위가 $[-2\pi, 2\pi]$ 를 갖는다.

도 15의 위상 판별 회로는 도 13의 (b)의 파형과 같아, 0점 교차가 2번 일어나는 주기를 위상 판별 구간으로 하여 그 범위를 $[-2\pi, 2\pi]$ 가 되도록 한 뒤 수학적으로 간단히 정리하여 얻어진 것이다. 즉, 도 15의 위상 판별 회로는 도 14의 정특성 필터(142)와, 부특성 필터(144), 위상 판별부(146)를 삭제하고, 복소수 곱셈부(148)의 일부를 삭제함으로써, 최적화된 위상 판별 회로를 구현한 것이다.

본 명세서에서는 본 발명을 특정한 실시예들과 관련하여서만 설명하였으나, 당업자들은 청구항 및 실시예의 기술사상의 한도내에서 다양하게 실시할 수 있다.

발명의 효과

이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명은 기저대역상의 VSB신호를 직접 처리하여 타이밍 정보를 획득하고 이를 이용하여 위상 오차를 계산하여 타이밍 복구를 수행하므로써 전체 타이밍 복구를 디지털적으로 수행하며, 매 심볼이 전송될 때마다 타이밍을 복구를 수행하게 되므로써 빠른 시간내에 타이밍 복구를 완료할 수 있다.

또한, 본 발명은 타이밍 복구를 위한 위상 판별의 범위를 $[-\pi, \pi]$ 에서 $[-2\pi, 2\pi]$ 로 확장시켜 중복된 계산을 간략화하고, 해당 소자를 제거하므로써 최적의 하드웨어 구조를 얻을 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1. 심볼 속도가 ($f_{\text{eq}}=1/T$)를 갖는 VSB 변조된 중간주파수 신호를 샘플링 속도 $f_{\text{sample}} (= 4/7 \times f_{\text{eq}})$ 로 직접 샘플링하여 얻은 기저대역상의 VSB 신호를 밴드 에지 필터링하여 음의 주파수 ($-1/2T$) 및 양의 주파수 ($1/2T$)에서 얻은 에지 성분을 이용하여 타이밍 복원을 위한 위상 오차를 계산하는 데 있어서, 입력된 밴드 에지 필터링된 VSB신호의 실수 I, 신호를 입력받아 1번 지연시키는 제 1 지연 레지스터(150)와; 상기 제 1 지연 레지스터(150)의 출력을 1번 지연시켜 출력하는 제 2 지연 레지스터(151); 입력된 실수 I, 신호에서 상기 제 2 지연 레지스터(151)로부터 출력된 신호를 뺄셈하는 제 1 감산기(152); 상기 제 1 지연 레지스터(150)의 출력과 곱계수 '4'를 곱셈하여 출력하는 제 1 곱셈기(153);

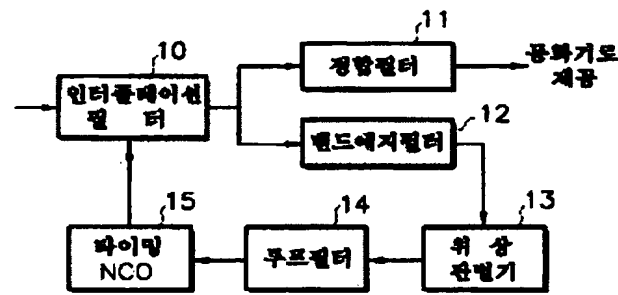
입력된 밴드 에지 필터링된 VSB신호의 허수 Q, 신호를 입력받아 1번 지연시키는 제 3 지연 레지스터(154)와; 상기 제 3 지연 레지스터(154)의 출력을 1번 지연시켜 출력하는 제 4 지연 레지스터(155); 입력된 허수 Q, 신호에서 상기 제 4 지연 레지스터(155)로부터 출력된 신호를 뺄셈하는 제 2 감산기(156); 상기 제 3 지연 레지스터(154)의 출력과 곱계수 '4'를 곱셈하여 출력하는 제 2 곱셈기(157);

상기 제 1 감산기(152)의 출력과 상기 제 2 곱셈기(157)의 출력을 곱셈연산하는 제 3 곱셈기(158); 상기 제 1 곱셈기(153)의 출력과 상기 제 2 곱셈기(157)의 출력을 곱셈연산하는 제 4 곱셈기(159) 및; 상기 제 3 곱셈기(158)의 출력과 상기 제 4 곱셈기(159)의 출력을 덧셈연산하여 출력하는 가산기(160)를 포함하며,

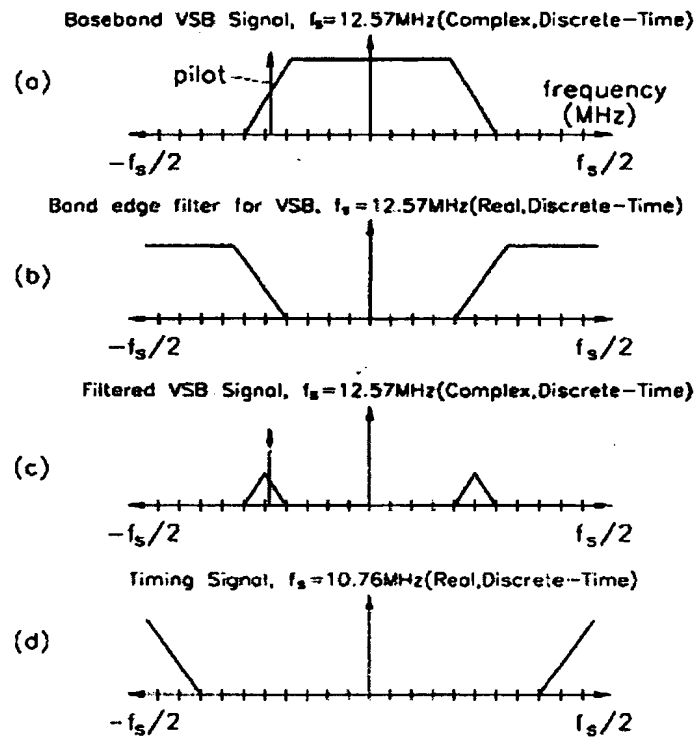
상기 가산기(160)에서 출력된 값은 위상 오차 판별 범위를 $[-2\pi, 2\pi]$ 로 하는 것을 특징으로 하는 전용특파대 HDTV의 타이밍 복원을 위한 위상 검출 회로.

도면

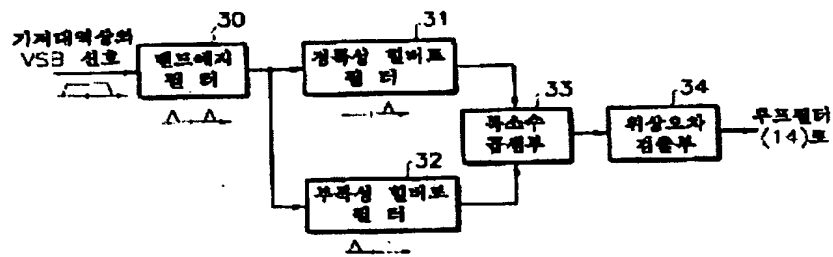
도 1



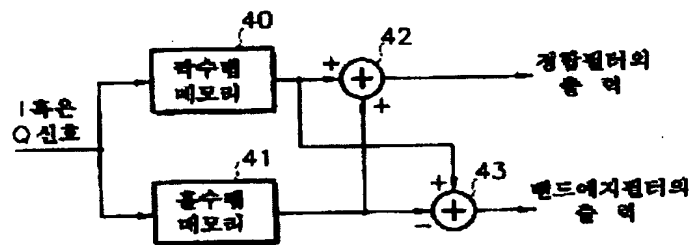
도 2



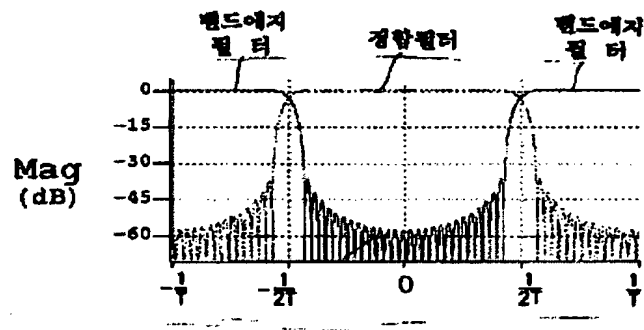
도 3



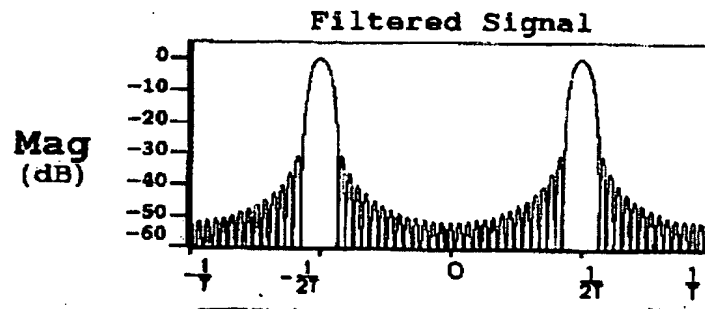
도 4



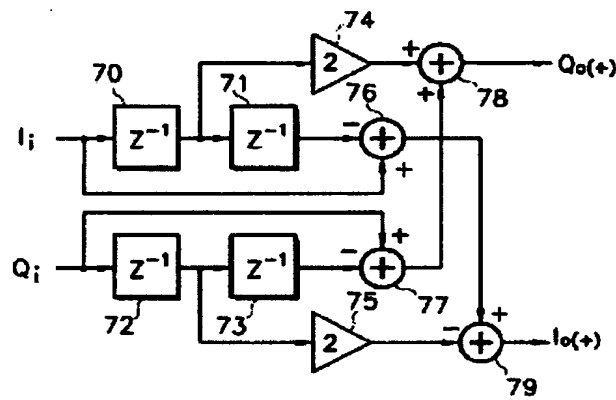
도 5



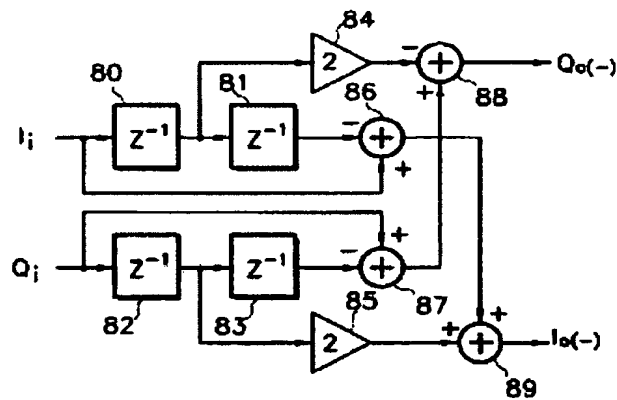
도 8



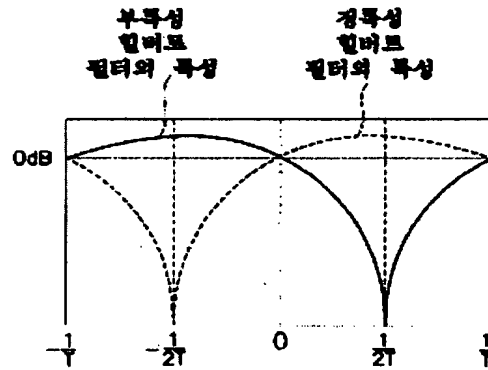
도 7



도 8

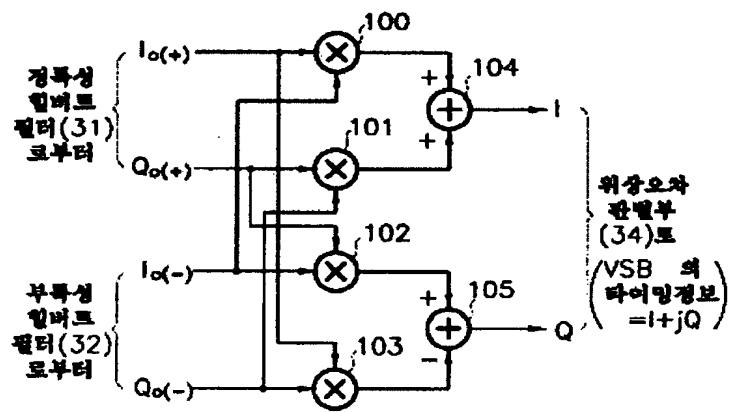


도 9

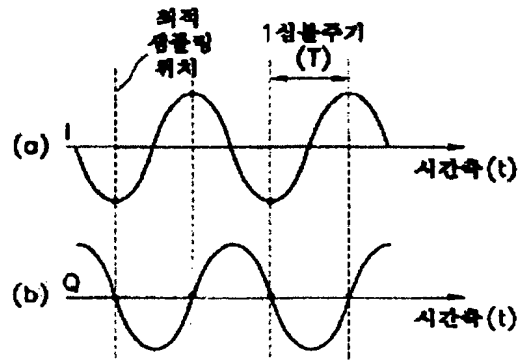


도 10

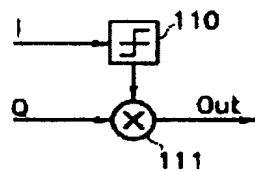
33



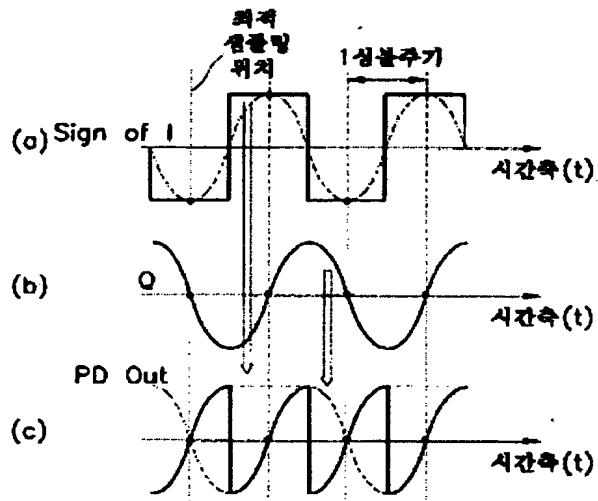
도면 11



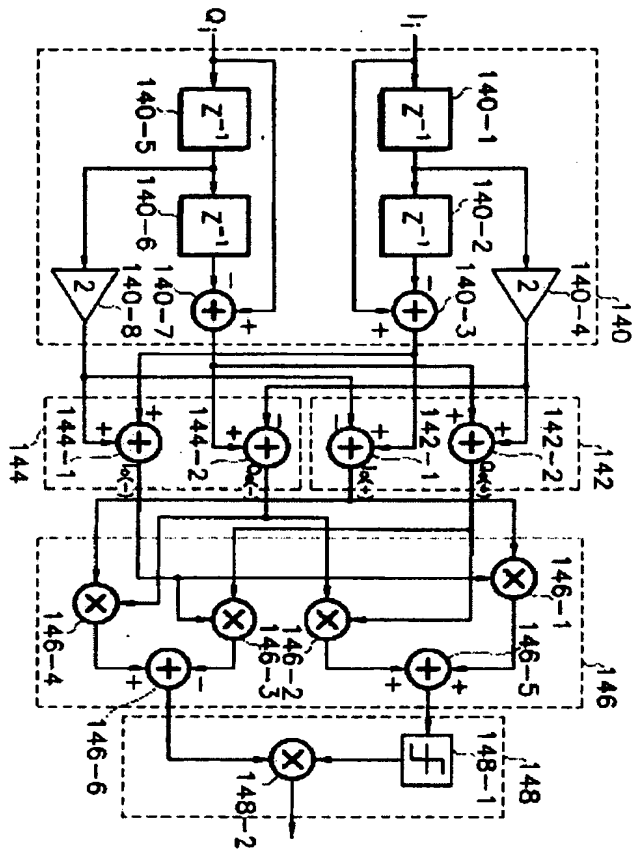
도면 12



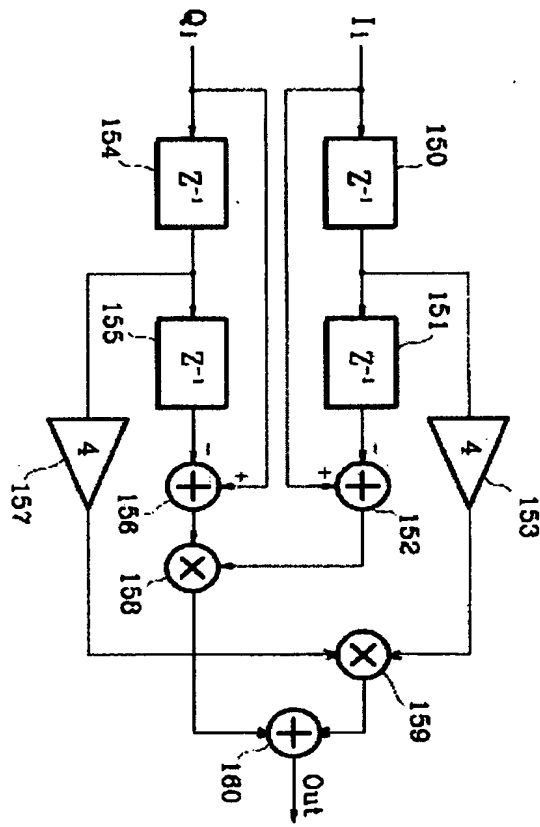
도면 13



도면 14



도 15



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.